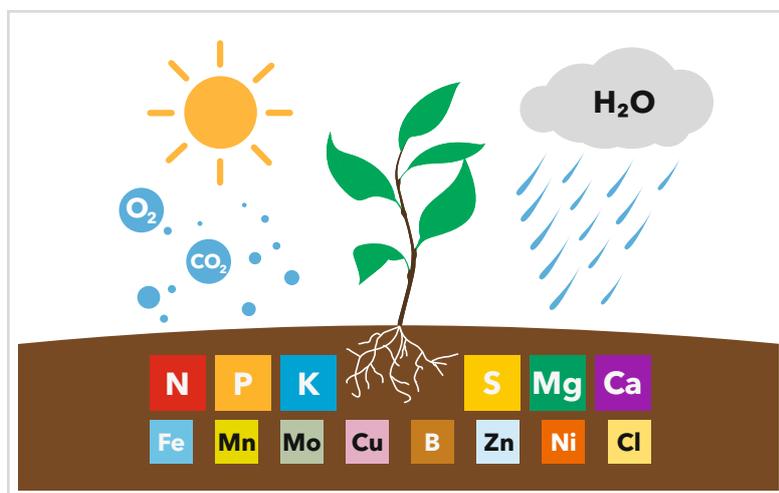


# Makronährstoffe, Mikronährstoffe und nützliche Elemente

## Was brauchen Pflanzen zum Leben?

Als Grundvoraussetzung für ein optimales Wachstum benötigen Pflanzen Sonnenlicht, Kohlendioxid, Sauerstoff und Wasser bzw. die darin enthaltenen Elemente Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H). Zusätzlich benötigen Pflanzen für ihr Wachstum mineralische Elemente, die **Pflanzennährstoffe**. Diese werden von den Pflanzen aus dem Boden oder über die Blätter aufgenommen. Sie stammen entweder aus dem Boden, der Luft oder aus einer mineralischen oder organischen Düngung und sind für Wachstum und Entwicklung der Pflanze essentiell.



Spricht man von Pflanzennährstoffen, müssen alle der folgenden drei Kriterien erfüllt sein:

- Ein Pflanzennährstoff ist ein Element, dessen Abwesenheit bzw. Unterversorgung während des Wachstums von Pflanzen zu einem spezifischen Mangelsymptom führt.
- Ein Pflanzennährstoff hat mindestens eine Funktion innerhalb der Pflanze, die wissenschaftlich erwiesen ist und bei der er durch kein anderes Element ersetzt werden kann.
- Fehlt ein Pflanzennährstoff völlig, kommt das Wachstum zum Erliegen und die Pflanze kann ihren Lebenszyklus nicht vollenden.

Nach diesen Kriterien gibt es nach heutiger Kenntnis der Wissenschaft 14 essentielle Pflanzennährstoffe.

## Wie unterscheiden sich Makronährstoffe und Mikronährstoffe?

Je nachdem, ob die Pflanzennährstoffe in größeren oder kleineren Mengen in den Pflanzen vorkommen, werden sie als „**Makronährstoffe**“ oder „**Mikronährstoffe**“ bezeichnet. Es gibt sechs Makro- und acht Mikronährstoffe (siehe Infokasten).



### Makronährstoffe

Makronährstoffe sind Pflanzennährstoffe, die in vergleichsweise hoher Konzentration im Pflanzengewebe vorliegen und deren Bedarf mehreren kg/ha entspricht. Es gibt sechs Makronährstoffe:

<b>N</b> Stickstoff	<b>S</b> Schwefel
<b>P</b> Phosphor	<b>Mg</b> Magnesium
<b>K</b> Kalium	<b>Ca</b> Calcium

### Mikronährstoffe

Mikronährstoffe sind Pflanzennährstoffe, die in vergleichsweise geringer Konzentration im Pflanzengewebe vorkommen und deren Bedarf nur mehreren g/ha entspricht. Sie werden auch Spurenelemente genannt. Acht Mikronährstoffe sind heute bekannt:

<b>Fe</b> Eisen	<b>B</b> Bor
<b>Mn</b> Mangan	<b>Zn</b> Zink
<b>Mo</b> Molybdän	<b>Ni</b> Nickel
<b>Cu</b> Kupfer	<b>Cl</b> Chlor

## Sind Natrium, Selen oder Cobalt auch Pflanzennährstoffe?

Neben Makro- und Mikronährstoffen nehmen Pflanzen noch weitere Elemente auf, die jedoch für ihr Wachstum und ihre Entwicklung nicht essentiell sind und die drei genannten Kriterien für Pflanzennährstoffe nicht erfüllen. Diese Stoffe werden als „**nützliche Elemente**“ bezeichnet. Beispiele sind Natrium, Selen und Cobalt.

Die nützlichen Elemente übernehmen in der Pflanze wichtige Funktionen bei Ertrag, Qualität oder Toleranz gegenüber Stress. Hierbei können sie jedoch häufig auch von anderen Elementen ersetzt werden. Ihr Mangel zeigt keine spezifischen Symptome und führt letztendlich auch nicht zum Tod der Pflanzen. Eine wichtige und essentielle Rolle spielen sie allerdings oft bei Menschen und Tieren, die sich von den Pflanzen ernähren.



### Nützliche Elemente

Diese Elemente erfüllen nicht die Kriterien der essentiellen Pflanzennährstoffe, sie sind aber für Pflanzen, Tiere und Menschen nützlich. Beispiele sind:

**Na** Natrium

**Al** Aluminium

**Co** Cobalt

**Si** Silizium

**Se** Selen



*Nützliche Elemente sind wichtig für Menschen und Tiere, ebenso können sie für Pflanzen hilfreich sein.*

# Makronährstoffe



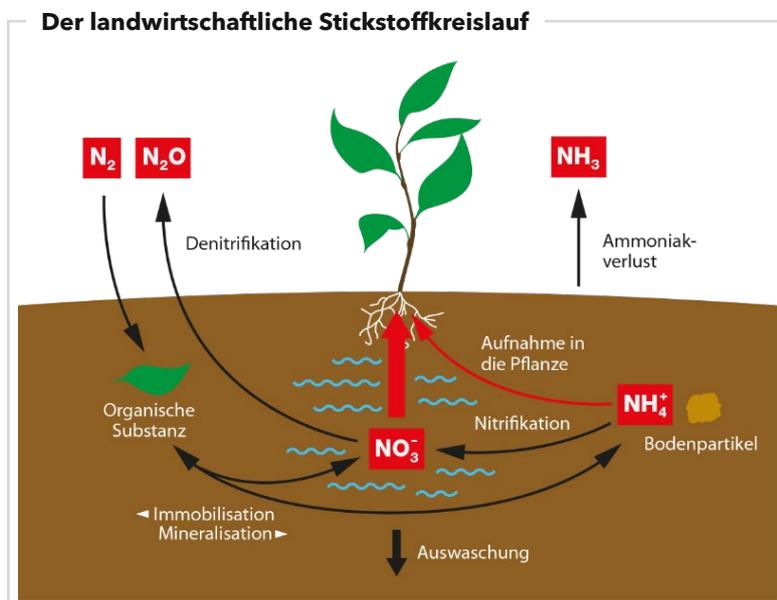
## Stickstoff

Stickstoff ist der Pflanzennährstoff, der die meiste Aufmerksamkeit bekommt, da dieser in vergleichsweise hoher Menge für Wachstum und Entwicklung von Beständen benötigt wird und weil Pflanzen unter Feldbedingungen relativ schnell auf eine unterbrochene oder unzureichende N-Versorgung reagieren.

**Stickstoff kann von der Pflanze in verschiedenen Formen aufgenommen werden:**

- Als Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), das im Bodenwasser gelöst ist.
- Als Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), das austauschbare Bindungen mit Bodenpartikeln eingeht.
- Manche Pflanzenarten (z.B. Leguminosen) können mithilfe von Knöllchenbakterien (Rhizobien) auch Stickstoff aus der Luft nutzen.

Neben den oben genannten mineralischen Formen liegt Stickstoff im Boden auch in organischen Fraktionen, also gebunden an die organische Masse, vor. Diese müssen, bevor sie von den Pflanzen aufgenommen werden können, zuerst mineralisiert werden - ein Prozess, der stark von den Umweltbedingungen im Boden (Luftgehalt, Wassergehalt und Bodentemperatur) abhängt. Wie bei den meisten anderen Nährstoffen ist daher der Gesamtgehalt an Stickstoff im Boden nur eine Kenngröße und für die Ernährung der Pflanzen relativ unbedeutend. Die im Boden ablaufenden Umwandlungsprozesse sind in der folgenden Grafik zur N-Dynamik dargestellt und sind entscheidend dafür, ob und wann der Stickstoff im Boden für die Pflanzen verfügbar ist und wie viel davon durch die im Boden ablaufenden Prozesse verloren geht.



### Nährstofffakten: Stickstoff

- ist Bestandteil von Aminosäuren, aus denen Proteine gebildet werden. Somit ermöglicht eine bedarfsgerechte Stickstoffdüngung einen hohen Eiweißgehalt im Erntegut.
- ist Baustein des Chlorophylls (Blattgrün) und daher wichtig für die Photosynthese.
- ist Bestandteil von Enzymen, die wichtige Aufgaben im Stoffwechsel der Pflanze erfüllen.
- ist in Nukleinsäuren (DNA, RNA) enthalten.

### Stickstoffmangel:

Bei Stickstoffmangel zeigen die Bestände eine hellgrüne bis gelbgrüne Aufhellung bis zur Chlorosenbildung. Diese Chlorosen werden zu Beginn an älteren Blättern sichtbar, zuerst an der Blattspitze, oft entlang der Blattadern. Grund dafür ist, dass Stickstoff innerhalb der Pflanze sehr mobil ist und den älteren Blättern entzogen wird, um ihn zu den Wachstumsorganen zu transportieren. Vom sehr ähnlich aussehenden Schwefelmangel unterscheidet sich der Stickstoffmangel insbesondere dadurch, dass Schwefelmangel vorwiegend bei den jüngeren Blättern beginnt.

Typisch für Stickstoffmangel sind auch Klein- oder Zwergwüchsigkeit bei Pflanzen.

Weiterhin ist bei Stickstoffmangelpflanzen die sogenannte Starttracht der Stängel und Blätter erkennbar. Damit ist eine aufrechte Stellung der Blätter gemeint, die sich eng an den Stängel anlegen.



Für mehr Infos zum Stickstoffkreislauf QR-Code scannen!

# Makronährstoffe



## Phosphor

Phosphor wird als Makronährstoff von der Pflanze als Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) aufgenommen. Für die Phosphataufnahme ist ein gut ausgebildetes Wurzelsystem von großer Bedeutung. Denn die Pflanzenwurzel nimmt hauptsächlich das in der Bodenlösung vorkommende Orthophosphat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  und  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) auf. Sie ist aber auch in der Lage, das im Boden vorkommende labile Phosphat über ausgeschiedene Säuren zu lösen und damit verfügbar zu machen.

Die Phosphorverfügbarkeit ist stark vom pH-Wert des Bodens abhängig, denn eine Nachlieferung erfolgt am besten bei einem pH-Wert zwischen 6 und 7. Steigt der pH-Wert im Boden an, so kann es zu Festlegung in Form von schwer löslichen Ca-Phosphaten kommen.

In Böden mit pH-Werten unter 5,5 liegt Phosphor überwiegend in Form von schwerlöslichen Aluminium- und Eisenphosphaten vor. Eine Applikation von wasserlöslichem Phosphat führt dort auch häufig zur Bildung solcher schwerlöslichen Verbindungen und somit zur Festlegung.



### Nährstofffakten: Phosphor

- ist Bestandteil wichtiger organischer Verbindungen und beeinflusst so den gesamten pflanzlichen Stoffwechsel.
- ist für die Übertragung chemisch gebundener Energie in verschiedensten Stoffwechselprozessen notwendig und hat zentrale Funktionen bei Ab-, Auf- und Umbaureaktionen wie bei der Fett-, Eiweiß-, Kohlenhydrat- und Vitaminsynthese.
- ist Bestandteil der Biomembran und fördert die Bewurzelung und Bestockung von Kulturpflanzen.
- ist besonders zur Ähren- und Blütenausbildung und zur Bildung von Früchten und Samen (Bildung von Phytin als P-Speicher für die Keimung) von großer Bedeutung.



Phosphormangel bei einer jungen Maispflanze.

### Phosphormangel:

Die älteren Blätter verfärben sich dunkelgrün, später rötlich und sterben schlussendlich ab. Dies erfolgt aufgrund einer vermehrten Anreicherung von Chlorophyll und der Erhöhung des Anthocyangehaltes. Es kann zum Abwurf der älteren Blätter kommen.

Die Pflanzen sind klein, zeigen einen kümmerlichen, aufrechten Wuchs und eine starre Haltung der Blätter. Man bezeichnet dies als Starrtracht - ähnlich wie bei Stickstoffmangel. Jedoch sind bei Phosphormangel die Blattspitzen eher nach unten gebogen.

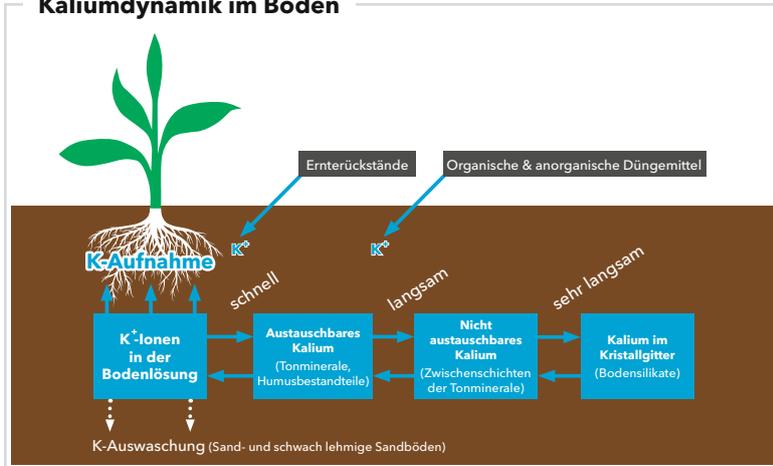
Zudem wird bei Getreidepflanzen die Bestockung vermindert. Bei allen Kulturen kann es zu einer verzögerten Blüte und Abreife der Ernteprodukte kommen und der Stoffwechsel wird gestört, sodass die Energieübertragung nicht ausreichend funktioniert.



## Kalium

Das sehr gut bewegliche Kalium wird von der Pflanze aus der Bodenlösung ausschließlich als Kalium-Ion ( $K^+$ ) aufgenommen. Im Boden liegt dieser Makronährstoff in Abhängigkeit des Bodentyps allerdings in verschiedenen Bindungsformen vor und damit variiert auch seine Verfügbarkeit für die Pflanze.

### Kaliumdynamik im Boden



Kalium liegt im Boden in vier verschiedenen Fraktionen vor:

- Als  **$K^+$ -Ion in der Bodenlösung** steht Kalium zur Aufnahme in die Pflanze bereit. Hier kann auf Sandböden eine Auswaschung stattfinden.
- In der **austauschbaren Fraktion** werden Kalium-Ionen an die negativ geladenen Oberflächen der Kationenaustauscher (Tonminerale und Humusbestandteile) sorbiert. Aus dieser lockeren Bindung kann Kalium bei Bedarf in die Bodenlösung nachgeliefert werden.
- In der **nicht austauschbaren Fraktion** sind die Kalium-Ionen in die Zwischenschichtpakete bestimmter Tonminerale eingelagert („fixiert“). Diese Tonminerale haben die Fähigkeit, durch Quellungs- und Schrumpfungsprozesse den Schichtabstand der Pakete zu verändern. Dadurch kann das eingelagerte Kalium pflanzenverfügbar werden, aber auch der Pflanzenaufnahme zeitweilig entzogen werden.
- Im **Kristallgitter** ist Kalium direkter Baustein der Bodensilikate. Durch diese feste Bindung ist dieses Kalium nicht pflanzenverfügbar. Erst durch die Verwitterung kann es aus dem Verband gelöst werden. Dies findet langsam und kontinuierlich statt.



Kaliummangel bei Raps.



### Nährstofffakten: Kalium

- beeinflusst die Photosyntheseleistung direkt – über die pH-Regulierung in den Chloroplasten – und indirekt – über die Öffnung der Stomata (Transpiration und Assimilation).
- ist im Stoffwechsel der Pflanze an der Aktivierung von mehr als 50 Enzymen beteiligt.
- verbessert den Wasserhaushalt der Pflanze und hilft somit bei Trockenstress.

**A** Siehe Beitrag „Trockenstress“ im Register „Stress“.

- verbessert die Bildung von Kohlenhydraten wie Zucker und Stärke.
- ermöglicht den Transport und die Einlagerung von Kohlenhydraten aus den Blättern in die Speicherorgane (Knollen, Körner, Rübenkörper etc.).
- fördert die interne Produktqualität durch höhere Eiweiß- und Vitamingehalte.
- wirkt positiv auf die Gehalte an organischen Anionen und verbessert in Verbindung mit Sulfat den Geschmack von Obst und Gemüse.
- fördert die Ausbildung des Stützgewebes und die Verholzung der Zellwände. Hierdurch werden die Lagergefahr (z.B. bei Getreide) und die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten (wie z.B. Pilzen) und Schädlingen verringert.
- steigert die Frostresistenz der Pflanzen.

### Kaliummangel:

Typisch für Kaliummangel sind Aufhellungen an den Blatträndern. Diese sind erst hellgrün, später entstehen dann Blattrand-, Blattspitzen- und Interkostalnekrosen. Final kann es zu Wachstumsstörungen kommen, die zur Kleinblättrigkeit führen.

Bei Kaliummangel sind die Blätter schlaff und welk (Welketracht).

# Makronährstoffe



## Schwefel

Schwefel liegt im Boden, ähnlich wie Stickstoff, vorwiegend organisch gebunden vor. Die vorhandenen Schwefelverbindungen unterliegen vielfältigen Umwandlungsprozessen, die in Analogie zum Stickstoffkreislauf stehen. So werden organische Substanzen in der mikrobiellen Mineralisierung oder der Hydrolyse umgesetzt. Das dabei entstehende Endprodukt ist immer das Sulfat-Ion. Genauso kann Schwefel z. B. durch Mikroben oder durch den Einbau in Fulvosäuren und Huminstoffen vorübergehend festgelegt werden. Unter anaeroben Bodenverhältnissen kann das Sulfat-Ion durch Bakterien zu Schwefelwasserstoff reduziert werden. In beiden Fällen wird der Bodenschwefel der pflanzlichen Ernährung entzogen.

Schwefel wird von der Pflanze ausschließlich als Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) aufgenommen und unterliegt als negativ geladenes Ion, ähnlich wie das Nitrat-Ion, keiner nennenswerten Adsorption im Boden. Es ist deshalb auswaschungsgefährdet, vor allem im Winterhalbjahr.

Elementarer Schwefel wird über Bodenbakterien (z. B. Thio-Bakterien) zu Sulfatschwefel umgebaut. Bei der Umwandlung oxidieren die Bakterien elementaren Schwefel zu Sulfat, wobei Protonen ( $\text{H}^+$ ) frei werden. Damit kommt es im Boden zu einer Absenkung des pH-Wertes. Daher wirkt als Düngemittel eingesetzter elementarer Schwefel bodenversauernd. Im Gegensatz dazu hat das dabei entstandene Sulfat oder auch Sulfatdünger selbst keinen Einfluss auf den pH-Wert.

Die Wirkung einer Bodenversauerung durch die Ausbringung von Elementarschwefel hängt jedoch vom Puffervermögen der Böden ab und so wird bei kalkhaltigen Böden die im Prozess entstehende Schwefelsäure durch den Kalk unter Bildung von Gips neutralisiert. Eine eventuell gewünschte Mobilisierung von schwer löslichen Phosphaten oder Mikronährstoffen findet unter solchen Bedingungen durch die Anwendung von elementarem Schwefeldünger daher nur sehr begrenzt statt.



Bei Raps treten bei Schwefelmangel hellgelbe bis weißliche Verfärbungen der Blütenblätter auf, die zusätzlich kleiner und weniger werden.



### Nährstofffakten: Schwefel

- verbessert die Stickstoffeffizienz und ist unerlässlich für die Synthese schwefelhaltiger Aminosäuren und hat Einfluss auf die gesamte Proteinsynthese.
- aktiviert wichtige Enzyme im Energie- und Fettsäurestoffwechsel und ist Bestandteil des Chloroplastenproteins.
- ist für die Bildung schwefelhaltiger sekundärer Pflanzenstoffe verantwortlich. Dazu gehören z. B. Lauch- und Senföle, die den Geschmack und Geruch der Ernteprodukte verschiedener Kulturpflanzen beeinflussen. Zudem ist Schwefel Bestandteil des Vitamin B1 (Getreidekörner, Leguminosen).
- wird für die Produktion pflanzeneigener Abwehrstoffe (Phytoalexine, Glutathion) benötigt.

### Schwefelmangel:

Schwefelmangelerscheinungen treten zuerst an den jüngeren Blättern auf, wobei es zu ganzflächigen Chlorosen an den Blättern kommt. (Analog zu Stickstoff: siehe Seite 3).

Der gesamte Habitus der Pflanze wirkt starr und spröde. Typisch ist auch ein „gestauchter“ Wuchs.

Besondere Symptome bei Raps sind löffelartig gewölbte Blätter, weiße statt gelbe Blüten und blasenförmig aufgedunsene Schoten.



Für mehr Infos zu den Schwefelformen QR-Code scannen und Video ansehen!



# Makronährstoffe



Magnesiummangel bei Wein.

## Magnesiummangel:

Magnesiummangelsymptome sind zuerst an den älteren Blättern zu sehen. Es kommt zu chlorotischen Flecken zwischen den Blattadern, da der Chlorophyllgehalt und die Chloroplastenzahl in der Pflanze sinken. Bei länger anhaltendem Mangel treten Nekrosen und Rotfärbungen an den Stängeln auf.

Die alleinige Beobachtung der Blätter ist aber ungeeignet, um eine gute Magnesiumversorgung sicherzustellen. Bereits bei latendem Mangel, also bevor sichtbare Symptome an den Blättern erkennbar werden, ist das Wurzelwachstum gehemmt. Dies geschieht durch den verminderten Abtransport von Kohlenhydraten aus den Blättern, der dafür verantwortlich ist, dass die Wurzeln unterversorgt und damit stark in ihrem Wachstum zurück bleiben. Dies wirkt sich wiederum auf die weitere Nährstoff- und Wasseraufnahme aus.

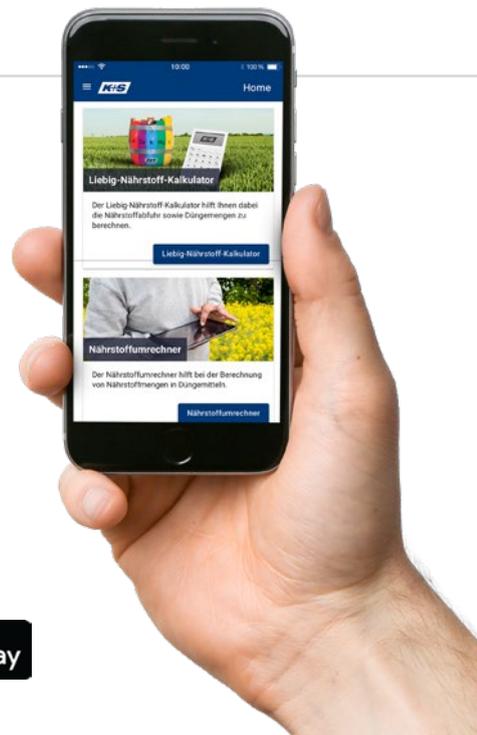


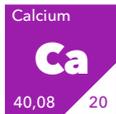
## Das 1x1 der Mangelsymptome - schnell und zuverlässig

Mit der kostenfreien App KALI-TOOLBOX haben Sie die wichtigsten Informationen zur mineralischen Düngung sowie passende Nährstoffempfehlungen und aussagekräftige Bilder zu allen Kulturen immer dabei. Identifizieren Sie die Mangelercheinungen Ihrer Kulturen zukünftig direkt vor Ort! Mit unserem neuen Liebig- Nährstoff-Kalkulator können Sie dann die Nährstoffzüge ganz bequem in nur wenigen Schritten per App berechnen und wissen so, welche Pflanzennährstoffe Ihre Kulturen in welcher Menge benötigen. Die App KALI-TOOLBOX können Sie kostenlos im „App Store“ oder bei „Google Play“ downloaden.



Für mehr Infos zur  
**KALI-TOOLBOX**  
QR-Code scannen!





## Calcium

Calcium liegt in vielen Böden als natürlicher Bestandteil von Mineralien vor, die im Allgemeinen leicht verwitterbar sind. In der Regel liegt Calcium im Boden als Calciumsulfat, Calciumphosphat und Calciumcarbonat vor. Es ist insbesondere für seine Funktionen im Boden bekannt: Calcium ist über die Bildung von Calciumbrücken zwischen Humus und Ton für eine gute Bodenstruktur verantwortlich. Calciumbrücken wirken so Bodenerosion und Staunässe entgegen. Als Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) wird es zur Erhöhung und Stabilisierung des Boden-pH-Wertes (Kalkung) eingesetzt. Calcium wird von den Wurzeln ausschließlich als  $\text{Ca}^{2+}$  mit dem Bodenwasser aufgenommen.



Calcium wird über Kalke dem Boden zugeführt.



### Nährstofffakten: Calcium

- hat eine wichtige Funktion als Struktur- und Steuerungselement.
- wird für die Zellteilung benötigt. Es stabilisiert Zellmembranen und verhindert damit den Verlust von Zucker in Stresssituationen wie z. B. bei Frost.
- aktiviert das Pflanzenwachstum durch die Regulierung membrangebundener Enzyme.
- neutralisiert, gemeinsam mit Mg und K, organische Säuren in der Pflanze.
- trägt zur besseren Resistenz gegen Krankheiten bei.

### Calciummangel:

Da der Calciumgehalt der Bodenlösung meist über den für Pflanzen notwendigen Konzentrationen liegt, ist Calciummangel bei den meisten Ackerkulturen selten. Anders ist es im Obst- und Gemüsebau, wo die Versorgung schwach transpirierender Pflanzenteile, wie z. B. der Früchte eingeschränkt ist, da Calcium phloemimmobil ist und hier die Rückverlagerung fehlt.

Typische Symptome sind Chlorosen an jungen, schwach transpirierenden Blättern, z. B. der Spitzenbrand bei Salat oder Herzfäule bei Blumenkohl.

Zu den bekanntesten Calciummangelerscheinungen zählen Stippigkeit bei Äpfeln (braune Flecken) oder Fruchtendfäule bei Tomaten.

Diese Mangelerscheinungen können aufgrund von Ionenkonkurrenz auftreten, z. B. die Hemmung der Phosphor-, Magnesium- und Eisenaufnahme.

# Mikronährstoffe



## Eisen

Eisen ist nach Aluminium das häufigste Metall in den Böden. Für alle Pflanzen ist es ein lebensnotwendiger Mikronährstoff. Eisen liegt im Boden als zweiwertiges ( $\text{Fe (II), Fe}^{2+}$ ) oder unter oxidierenden Verhältnissen als dreiwertiges ( $\text{Fe (III), Fe}^{3+}$ ) Eisenoxid vor. Dabei ist  $\text{Fe}^{3+}$  aufgrund der geringen Löslichkeit nicht direkt pflanzenverfügbar und muss entsprechend im Boden oder in der Wurzel zu  $\text{Fe}^{2+}$  reduziert oder chelatisiert werden, um pflanzenverfügbar zu werden.

In feuchten Böden (unter sauerstoffärmeren Bedingungen) werden  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen zu pflanzenverfügbaren  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen reduziert und damit für die Pflanze verfügbar gemacht.

In trockenen Böden (unter sauerstoffreichen Bedingungen) wird das  $\text{Fe (II)}$  zu  $\text{Fe (III)}$  oxidiert. Hohe  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte reduzieren zusätzlich die Verfügbarkeit von Eisen und es kommt unter diesen Bedingungen, häufig nach einer Kalkung, bei Pflanzen zu sogenannten kalkinduzierten Chlorosen.



### Nährstofffakten: Eisen

- ist Bestandteil zahlreicher Enzyme und damit z.B. am Chlorophyllaufbau beteiligt.
- ist bei der Photosynthese an der Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie involviert.
- ist am Nukleinsäurestoffwechsel, an der Nitratreduktion und damit auch an der Eiweißsynthese beteiligt.
- hat eine sehr wichtige Funktion bei der Gewinnung von Atmungsenergie.



Eisenmangel tritt in der Praxis z.B. im Weinbau häufig auf.

### Eisenmangel:

Eisenmangel äußert sich vorrangig durch Chlorosen an den jüngeren Blättern, wobei aber die Blattadern grün gefärbt bleiben. Dies zeigt, dass die Photosyntheseleistung deutlich reduziert wurde.

Als langfristige Folge des Eisenmangels kann es zu Ertragseinbußen und schlechterem Wuchsverhalten kommen. Dauerhafter Eisenmangel führt zu Wachstumsstillstand, der schlussendlich zum Absterben der Pflanze führt.



Die beiden Blätter links zeigen Weizen mit Eisenmangel. Im Vergleich dazu rechts zwei gut versorgte Blätter.



## Mangan

Mangan liegt in Böden hauptsächlich als Oxid sowie in Silikaten und Carbonaten vor. Bei der Silikatverwitterung gelangen  $Mn^{2+}$ -Ionen in die Bodenlösung, von wo sie dann direkt von Pflanzen aufgenommen werden können oder an positive Oberflächen von Kationenaustauschern, organischen Komplexen und Eisenoxiden adsorbiert werden. Die Pflanzenverfügbarkeit von Mangan steigt mit sinkendem pH-Wert und abnehmendem Redoxpotential (abnehmendem Sauerstoffgehalt) des Bodens.

Die Pflanze nimmt Mangan ausschließlich als  $Mn^{2+}$ -Ion auf.

Dieser Prozess kann jedoch durch die hohe Konzentration an  $Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ -,  $Cu^{2+}$ - und  $Fe^{2+}$ -Ionen beeinträchtigt sein.



*Manganmangel tritt häufig auf schlecht rückverfestigten Böden auf. Unter diesen Bedingungen sind oftmals in Verdichtungsbereichen wie Fahrspuren oder Vorgewende keine Symptome zu erkennen.*



### Nährstofffakten: Mangan

- aktiviert, ähnlich wie Magnesium, zahlreiche Enzyme bzw. ist Bestandteil dieser und beeinflusst hierüber den pflanzlichen Stoffwechsel.
- nimmt direkten Einfluss auf die Photosynthese und ist an der Bildung der Chloroplasten beteiligt.
- ist wichtiger Bestandteil der Fettsäurebiosynthese und beeinflusst den Energiehaushalt durch die Steuerung des Kohlenhydratstoffwechsels.
- ist erforderlich, damit die Nitratreduktion in der Pflanze erfolgen kann.
- fördert die Bildung von Seitenwurzeln und aktiviert das Wachstum durch Einfluss auf das Zellstreckungswachstum.
- ist an der Bindung von Sauerstoffradikalen beteiligt und reduziert damit die Schädigung von Blattzellen, die bei Auftreten von Stress entstehen.

### Manganmangel:

Bei Manganmangel kommt es an den mittleren und jüngsten Blättern zu chlorotischen Flecken zwischen den Blattadern. Dies ist auf eine gestörte Chloroplastenausbildung zurückzuführen.

Bei Gramineen (Gräsern) bilden sich chlorotische und nekrotische Streifen aus.

Besonders charakteristisch sind die Mangelsymptome bei Hafer. Hier spricht man von der Dörrfleckenkrankheit. Schmutziggraue Streifen oder Punkte sind am basalen Teil des Blattes zu erkennen. Der gesamte Wasserhaushalt ist gestört.

Manganmangelpflanzen haben ein geringes Zellvolumen. Das Zellstreckungswachstum und die Seitenwurzelbildung sind gestört.

# Mikronährstoffe

Molybdän

**Mo**

95,94 42

## Molybdän

Molybdän kommt in der Natur hauptsächlich als Gitterbestandteil von Silikaten vor und wird bei deren Verwitterung freigesetzt. Sandsteine und sandige Sedimente enthalten meist niedrige Molybdängehalte. Hingegen weisen Sedimente, die organische Substanz enthalten, höhere Molybdängehalte auf.

Der quantitative Bedarf an Molybdän ist niedriger als der aller anderen Nährstoffe und Molybdän dient überwiegend als Co-Faktor in enzymatischen Reaktionen.

Anders als die meisten anderen Mikronährstoffe wird Molybdän im sauren pH-Bereich stark an Ton-, Eisen- und Aluminiumhydroxide sorbiert. Somit nimmt also mit steigendem pH-Wert die Pflanzenverfügbarkeit zu. Aufgenommen wird Molybdän als  $\text{MoO}_4^{2-}$  aus der Bodenlösung.



Molybdänmangel tritt z. B. bei Blumenkohl häufig auf.



### Nährstofffakten: Molybdän

- ist beteiligt an der Aktivierung von Enzymen und des Enzymstoffwechsels.
- ist Bestandteil der Nitratreduktase und somit am N-Stoffwechsel beteiligt.
- ist Bestandteil des für Leguminosen wichtigen Enzyms Nitrogenase, zur Reduktion von Luftstickstoff.

### Molybdänmangel:

Molybdänmangel wird häufiger bei Leguminosen, aber auch bei Mais und Blumenkohl beobachtet, insbesondere auf sauren Mineralböden mit hohem Anteil an reaktivem Eisen, das  $\text{MoO}_4^{2-}$  adsorbiert.

Molybdänmangel führt zur Anreicherung von Nitrat in der Pflanze (verminderte Nitratreduktaseinaktivität). Es kann zu Chlorosenbildung durch verminderten Wuchs an den älteren Blättern kommen, die deformiert sind und reduzierte Blattspreiten und Blatt-randaufwölbungen aufweisen.

Bei Leguminosen führt eine Molybdän-unterversorgung zu einer verminderten  $\text{N}_2$ -Fixierung.

Kupfer  
**Cu**  
63,55 29

## Kupfer

Im Boden wird Kupfer hauptsächlich an die organische Substanz sowie an Mangan- und Eisenoxide gebunden. Des Weiteren kann es in die Gitter von Silikaten eingebaut werden sowie als Hydroxid, Carbonat oder Phosphat ausgefällt werden. Die Kupferkonzentration in der Bodenlösung ist vom pH-Wert und der zur Verfügung stehenden Komplexbildner abhängig. Mit sinkendem pH-Wert nimmt der Anteil an austauschbarem Kupfer zu.

Die Pflanze nimmt Kupfer als  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen bzw. lösliche Kupferkomplexe aus der Bodenlösung auf.



*Leguminosen benötigen Kupfer für die Knöllchenbakterien.*



*Kupfermangel bei Mais.*



### Nährstofffakten: Kupfer

- steuert den photosynthetischen Elektronentransport.
- ist, ähnlich wie Mangan, an der Bindung von Sauerstoffradikalen beteiligt, wodurch diese unschädlich gemacht werden.
- ist für die Lignifizierung und somit die Stabilisierung von Zellwänden wichtig.
- ist an der Pollenbildung und Befruchtung beteiligt und hat somit einen Einfluss auf die Körner-, Saat- und Fruchtbildung.
- ist für die Knöllchenbakterien der Leguminosen notwendig.

### Kupfermangel:

Die Blätter rollen sich zwirnsfadenartig zusammen, welken und sterben schließlich ab und das Wachstum der Internodien ist gehemmt.

Ähren bzw. Rispen sind schlecht ausgebildet und bleiben ohne Körner. Infolge geschädigter Chloroplasten werden bei Getreide die jüngsten Blätter weiß.

Bei Obstbäumen verkümmern die Triebspitzen, Blüten und der Fruchtansatz.

Kupfermangel wird durch steigende Stickstoffversorgung begünstigt, da Kupfer eine feste Bindung mit den nun verstärkt gebildeten Aminosäuren eingeht.

# Mikronährstoffe



## Bor

Bor kommt in der Natur in Gesteinen und Tonmineralien vor. Es wird bei deren Verwitterung als leicht wasserlösliche Borsäure ( $H_3BO_3$ ) freigesetzt. Aufgrund der Adsorption von Bor an Ton und an die organische Substanz, enthalten sandreiche Böden im Allgemeinen niedrigere Borgehalte als ton- und humusreiche Böden. Pflanzen nehmen Bor als  $B(OH)_3$  aus der Bodenlösung auf.



### Nährstofffakten: Bor

- fördert die Bildung von zellwandstabilisierenden Kohlenhydraten, verbessert die Membranstabilität und die Membranfunktion.
- aktiviert die Saccharosebildung und den Abtransport von Assimilaten in die Speicherorgane.
- reguliert die Bildung von Nukleinsäuren und beeinflusst somit auch die gesamte Eiweißsynthese.
- fördert das Pflanzenwachstum, indem es die Zellteilung begünstigt.



Bormangel bei Zuckerrüben führt zur Herz- und Trockenfäule. Dabei stirbt der Vegetationskegel ab und beginnt zu faulen.

### Bormangel:

Bormangel führt zum Absterben von Wurzel- und Sprossspitzen sowie zum Vertrocknen der jüngeren Blätter. Ursache hierfür ist die unzureichende Assimilatversorgung und ein gestörter Wasserhaushalt.

Ähnlich wie Calcium wird Bor über den Transpirationsstrom in der Pflanze verteilt und ist nicht phloemmobil. Daher tritt Bormangel in den meisten Pflanzen insbesondere an Organen mit geringer Transpiration auf. Insgesamt erhöht sich bei Bormangel die Transpiration und so wird der Wasserhaushalt der Pflanzen negativ beeinflusst.

Aufgrund fehlender Apikaldominanz kommt es bei Bormangel zu einem verstärkten Austrieb von Seitenknospen. Die Blütenbildung und die Befruchtung werden beeinträchtigt.

Bei Leguminosen kommt es zur schlechteren Entwicklung der Knöllchenbakterien in den Wurzeln. Typische kulturspezifische Schadbilder sind z.B. die Herz- und Trockenfäule bei Zuckerrübe, Futterrüben und Mangold sowie die Spitzenvergilbung bei der Luzerne.

Zink

**Zn**

65,38 30

## Zink

Zink liegt im Boden organisch oder an Tonminerale gebunden vor. Der Gehalt an austauschbarem Zink ist bei pH-Werten höher als 6 sehr gering und steigt mit abnehmendem pH-Wert. Bei pH-Werten über 7 nimmt die Zinkaffinität gegenüber Mangan- und Eisenoxiden stark zu und die Verfügbarkeit entsprechend ab.

Pflanzen nehmen den Mikronährstoff Zink aus der Bodenlösung meist als  $Zn^{2+}$ -Ion oder als Zinkhydroxid-Ion (bei höherem pH-Wert) auf.



### Nährstofffakten: Zink

- beeinflusst die Proteinbildung als essentieller Bestandteil der RNA-Polymerase, welche die Synthese der RNA katalysiert und als stabilisierendes, strukturelles Element der Ribosomen.
- katalysiert als Enzymbestandteil die Bildung von Fructose-6-phosphat, das ein wichtiges Metabolit für die Glykolyse und für die wichtige Photosynthese darstellt.
- beeinflusst den Gehalt des Phytohormons Indol-3-essigsäure (IAA), welches für die Steuerung des Pflanzenwachstums wichtig ist.



Zinkmangel in Getreide.

### Zinkmangel:

Die Blätter bleiben klein und ihre Spitzen sind oft weiß und die ganze Pflanze zeigt ein stark reduziertes Wachstum (Zwergenwuchs). An älteren und mittleren Blättern treten chlorotische Flecken mit abgestorbenen Zonen auf.

Bei Obst kommt es infolge gestauchter Internodien zur Rosettenblättrigkeit. Das Wachstum der Zweige ist gehemmt und junge Schösslinge sterben ab. Die Blätter fallen früh ab.

Bei Weinreben kommt es zur vermehrten Entwicklung von Geiztrieben und die Trauben bleiben klein.

# Mikronährstoffe



## Nickel

Der Mikronährstoff Nickel ist erst in den 1980er Jahren als Pflanzennährstoff bestätigt worden und damit der jüngste bekannte Pflanzennährstoff. Im Boden findet man Nickel in ultrabasischen Gesteinen, aber insbesondere durch Immissionen aus der Verbrennung von Kohle und Erdöl (Verkehr). Chemisch ist Nickel ähnlich dem Eisen und dem Cobalt. Dabei wird es von Pflanzen bevorzugt als zweiwertiges Ion  $\text{Ni}^{2+}$  aufgenommen.



### Nährstofffakten: Nickel

- ist an den Funktionen verschiedener Proteine beteiligt.
- ist Bestandteil des Enzyms Urease und damit Schlüsselnährstoff für die Stickstoffaufnahme aus Harnstoff.



*Wenn Nickel mit allen Nährstoffen im optimalen Gleichgewicht vorliegt, sind die Kulturen gesund und ertragreich.*

### Nickelmangel:

Nickelmangel kann bei allen Pflanzen zu einer schnelleren Alterung und Abreife führen.

Bei Gramineen (Gräsern) ist beschrieben, dass Nickelmangel zu Chlorosen führt und vermehrt zusammen mit Eisenmangel beobachtet wird.

Speziell bei Leguminosen äußert sich Nickelmangel als Blattspitzennekrose.

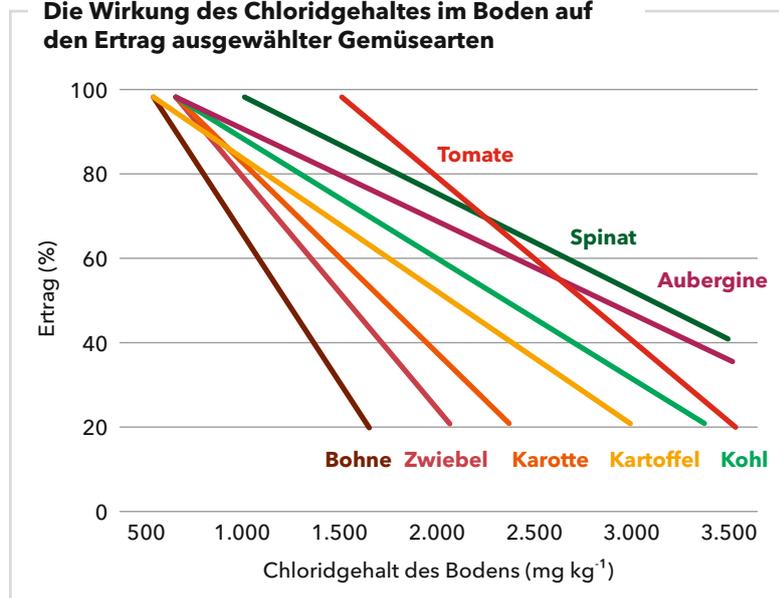
Ähnlich wie bei Chlor tritt Nickelmangel bei Kulturpflanzen eher selten auf. Dagegen ist Nickeltoxizität ein Problem, insbesondere bei der Ausbringung nickelhaltiger Klärschlämme. Bei empfindlichen Pflanzenarten führt die Nickeltoxizität zu einer starken Hemmung des Wurzelwachstums.

Chlor  
**Cl**  
 35,45 17

## Chlor

Chlor ist in der Natur allgegenwärtig. Es liegt in wässriger Lösung als Chlorid (Cl<sup>-</sup>) vor und wird in dieser Form von der Pflanzenwurzel aufgenommen. Pflanzen beziehen Chlor aus vielen Quellen z. B. aus dem Boden, Bewässerungswasser, Regen, Düngemitteln, durch Luftverschmutzung etc. In der Regel entsteht daher kein Chlormangel.

**Die Wirkung des Chloridgehaltes im Boden auf den Ertrag ausgewählter Gemüsearten**



Quelle: Maas, 1986.



### Nährstofffakten: Chlor

- ist sehr gut beweglich durch Zellmembranen und dient als Begleitung zu Kalium.
- ist essentiell bei der Wasserspaltung der Photosynthese.
- ist häufig in Kombination mit Kalium an der osmotischen Regulation innerhalb der Pflanze (u. a. auch in den Stomata) beteiligt und damit wichtig für die Regulierung des Wasserhaushaltes.

### Chlormangel:

Chlormangel tritt, wie oben beschrieben, eher selten auf. Wenn man einen Mangel entdeckt, äußert sich dieser als Welkeerscheinung und Blattrandnekrosen ähnlich denen des Kaliummangels.

Häufiger als Chlormangel tritt in der Pflanzenproduktion Chlortoxizität auf. Dies betrifft insbesondere Regionen, in denen es aufgrund unzureichender Niederschläge zur Akkumulation von Salzen wie Cl<sup>-</sup> im Wurzelbereich kommt. In humiden Klimaten wird das Cl<sup>-</sup> mit dem Niederschlagswasser ausgewaschen.

Einige heimische Kulturen, vor allem Obst- und Gemüsearten, sind chloridempfindlich. Hier werden Ertrag oder Qualität durch ein Überangebot an Chlor beeinträchtigt.

# Nützliche Elemente

**Zu den nützlichen Elementen zählen Natrium, Cobalt, Selen, Aluminium und Silizium.** Diese Elemente können einen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum haben oder für die Nutzung der Ernteprodukte durch Mensch und Tier eine Bedeutung haben. Sie zählen nicht zu den essentiellen Nährstoffen, da sie die drei Kriterien (siehe Seite 1) nicht erfüllen. In einzelnen Fällen kann ein Element auch für nur wenige Kulturen als Pflanzennährstoff fungieren, für alle weiteren Kulturen aber nur ein nützliches Element sein - wie z. B. Natrium bei Salzpflanzen oder Silizium bei Reis.



## Natrium

Natrium spielt in der Ernährung der Pflanze eine untergeordnete Rolle. Natrium kommt im Boden nur in gebundenem Zustand hauptsächlich in Form von Salzen vor und wird von Pflanzen als  $\text{Na}^+$  aufgenommen.

Positive Ertrags- und Qualitätseffekte einer Natriumdüngung lassen sich bei den natrophilen Kulturarten (z. B. Chenopodiaceen) nachweisen. Die Zuckerrübe ist das bekannteste Beispiel für eine dieser Kulturen mit relativ hohem Bedarf an Natrium.

### Natrium für die Tiere

In der Tierernährung ist eine ausreichende Natriumversorgung ein wichtiger Faktor zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Tiere. Natriummangel führt zu Appetitlosigkeit, Rückgang der Milchleistung, Gewichtsverlust und hat Auswirkung auf die Gesundheit sowie die Fruchtbarkeit des Tierbestandes. Daher ist die Natriumversorgung der Futterpflanzen von entscheidender Bedeutung für die Tierernährung.

### Natrium in der Pflanze

Die wichtigste Rolle, die Natrium in der Pflanze spielt, ist die Substitution von Kalium in unspezifischen Funktionen, z. B. als Osmotikum, wo es zu einer effizienteren Wassernutzung beitragen kann.

Bei den natrophilen Zuckerrüben fördert Natrium auch die Bildung von Fruktose und deren Umwandlung in Glukose, die wiederum in den Rübenkörper eingelagert wird.

Natrium-Ionen können teilweise Enzyme des pflanzlichen Stoffwechsels aktivieren, die auch durch Kalium-Ionen aktiviert werden. Das heißt, sie sind bedingt austauschbar.

Natrium ist bei einigen C4-Pflanzen (z. B. Amaranth) wichtig für die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme.



*Natrium fördert die Tiergesundheit und steigert die Grundfutterleistung.*



## Cobalt

Cobalt ist essentiell für alle höheren Tiere und den Menschen. Auch für Prokaryoten (inklusive der Blau-Grün-Algen) gilt es als wichtiger Nährstoff. Für die Kulturen des Acker- und Gartenbaus ist es ein nützliches Element.

Cobalt kann bei der  $N_2$ -Fixierung durch Knöllchenbakterien bei Leguminosen eine Rolle spielen. Die wichtigste Rolle dieses Elementes ist seine Aufgabe im Co-Enzym Cobalamin (Vitamin B12 und seiner Derivate).



## Selen

Auch Selen erfüllt nicht die Kriterien eines essentiellen Nährstoffs und zählt zu den nützlichen Elementen, obwohl es an einer Anzahl von Enzymreaktionen (z.B. Glutathionperoxidase) beteiligt ist.

Besonders wichtig ist Selen für Mensch und Tier, wo Selenmangel weit verbreitet ist. Da pflanzliche Nahrungsmittel weltweit eine große Bedeutung haben, wird dieses Element über die Pflanze in die tierische und menschliche Ernährung integriert. Genau aus diesem Grund ist Selen als wichtiges Element im Bereich der **Biofortifikation** wiederzufinden.



*Paranüsse zählen zu den selenreichen Lebensmitteln. Über die Pflanzenernährung kann der Gehalt im Produkt gesteigert werden und so der menschlichen Ernährung zugute kommen.*



### Biofortifikation

Biofortifikation ist die Anreicherung des Nährstoffgehalts von Nahrungsmitteln durch Pflanzenzüchtung oder Pflanzenernährung.



## Aluminium

In der Regel ist Aluminium als toxisches Element bekannt. Besonders auf Böden mit niedrigen pH-Werten unter 5,5 geht das in Böden in großen Mengen vorhandene Aluminium in Lösung und schädigt zunächst die Pflanzenwurzeln, deren Wachstum und Aktivität stark herabgesetzt wird. Es kommt dadurch zu einer verminderten Wasser- und Nährstoffaufnahme, die sich negativ auf Ertrag und Qualität auswirken.

Jedoch gibt es ein paar positive Ausnahmen bei aluminiumtoleranten Pflanzen wie z.B. Tee, der wie der asiatische Rhododendron (Melastoma) und die Eiche (Quercus serrata) positiv auf Aluminium reagiert. In diesen Pflanzen werden in gewissen Konzentrationsbereichen positive Effekte auf Wurzelaktivität und das Wurzelzellenwachstum beobachtet. Bei Tee wird jedoch vor dem Genuss von Teesorten, die aus älteren Blättern und Zweigen hergestellt wurden, gewarnt: Die hohen Aluminiumgehalte verursachen beim Menschen eine gesundheitsschädliche Radikalbildung.



## Silizium

Silizium ist vergleichbar mit dem Mikronährstoff Bor ein Bestandteil der Zellwand. Für Reis ist Silizium von größerer Bedeutung, da es durch Siliziummangel zur unvollständigen Ausbildung des Aerenchym (Durchlüftungsgewebe) kommen kann. Aus diesem Grund ist Silizium für Reis sogar als essentieller Nährstoff zu betrachten, für alle anderen Kulturen aber als nützliches Element.

Eine positive Wirkung von Silizium wird auch bei Gräsern beobachtet. Es verbessert die Pflanzengesundheit, da Schädlinge und Pilze das Pflanzengewebe bei höheren Siliziumgehalten deutlich weniger schädigen.



*Das Beispiel Reis zeigt, dass die Zuordnung eines Elements zu den Pflanzennährstoffen oder den nützlichen Elementen auch von der Kultur abhängig sein kann: Für die meisten Pflanzen ist Silizium ein nützliches Element, bei Reis jedoch ein essentieller Nährstoff.*



**K+S Minerals and Agriculture GmbH**  
Bertha-von-Suttner-Str. 7  
34131 Kassel, Deutschland

+49 561 9301-0  
kali-akademie@k-plus-s.com  
www.kali-akademie.de

Ein Unternehmen der K+S

